

エージェント型ネットワークミドルウェアの構成に関する研究

著者	北形 元
号	210
発行年	2001
URL	http://hdl.handle.net/10097/12905

氏 名 (本 籍)	きたがた げん 北 形 元 (石川県)
学 位 の 種 類	博士(情報科学)
学 位 記 番 号	情 博 第 210 号
学 位 授 与 年 月 日	平成14年3月25日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項
研 究 科, 専 攻	東北大学大学院情報科学研究科(博士課程) 情報基礎科学専攻
学 位 論 文 題 目	エージェント型ネットワークミドルウェアの 構成に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 東北大学教授 白鳥 則郎 東北大学教授 木下 哲男 東北大学教授 曾根 秀昭

論文内容要旨

1 序論

情報資源やトラヒックなどが時々刻々と変動するネットワーク環境において、利用者要求を満足するサービスを提供するためには、このような変動に対して自律的に適応可能なアプリケーションの構築が重要となっている。

環境変動に対して自己の動作を自律的に調整可能な適応型システムの構築に関する研究として、白鳥らが提案するやわらかいネットワークがある。やわらかいネットワークは、エージェントがCPUやネットワーク等の資源の変動に応じてその組織を構成/再構成することで、適応的なサービスを提供する手法である。これまで、やわらかいビデオ会議システム等の実現例が提案されてきたが、個々のアプリケーションのみで適応する事には限界があり、複数のアプリケーション間での協調的な適応を支援するための基盤ソフトウェア、すなわちミドルウェアの開発手法の確立が望まれている。

本研究では、これまで単独のアプリケーションのみで行われてきた適応動作を、ネットワーク資源／プラットフォーム資源を共有して稼働する複数のアプリケーション間での適応動作へ拡張することを目指すとし、アプリケーションとネットワークを統合的に監視・制御する動的ネットワーキングアーキテクチャを提案し、本アーキテクチャに基づくエージェント型ネットワークミドルウェアの構成法を与える。

2 動的ネットワーキングアーキテクチャ

従来のネットワークアーキテクチャにおけるアプリケーション層と論理ネットワーク層の間に、これらを効果的に連携させる新たな機能層としてやわらかいネットワーク層を導入した動的ネットワーキングアーキテクチャを考案する。さらに、やわらかいネットワーク層の具体的な実現手法として、エージェント型のネットワークミドルウェアを提案する。

やわらかいネットワーク層(FN層)は、論理ネットワーク層(LN層)が提供する従来型のネットワークサービスを抽象化／高度化しアプリケーション層(AP層)に利用者指向ネットワークサービスを提供するという層機能としての役割と、アプリケーション／ネットワークのそれぞれの動作状況を自律的／能動的に監視し、アプリケーションの状況変化に応じネットワークを、また逆に、ネットワークの状況変

化に応じてアプリケーションをそれぞれ調整・制御するアクティブなミドルウェアとしての役割を持つ。特に後者は、外部の環境の変動やシステム内部の変動が生じた場合に、この変動を吸収し、利用者の求めるサービスを継続的に提供し、かつシステム機能の低下を防ぐことが出来るというやわらかいシステム概念に合致するものである。

やわらかいネットワーク層とアプリケーション層間のインタフェースに着目した場合、従来のインターネットアーキテクチャにおけるソケットベースの固定的なAPIでは、やわらかいネットワーク層の機能的な適応性を満足することは困難である。そこで、やわらかいネットワーク層内の機能とアプリケーション固有の機能をそれぞれコンポーネントとして設計し、それぞれのコンポーネントを実行時に動的に組み合わせるといふ、新しいネットワークアプリケーション構築の考え方を導入する。さらに、コンポーネントの具体的なモデルとして、組織構成知識、既存機構を制御する知識、コンポーネント間協調機構を備えたエージェントを基本とし、やわらかいネットワーク層の各機能を実現するエージェントの集合として構成する。

3 アプリケーション指向ネットワークサービス品質の制御方式

第2章で提案したネットワークミドルウェアの支援に基づいた、アプリケーション指向ネットワークサービス品質(QoS)制御方式を考案する。これは、QoS制御機能を持たない一般的なネットワーク環境において、複数の計算機上で稼動する各ミドルウェアが互いに協調して個々のアプリケーションの通信量を調整することにより、効果的なQoS制御を実現する手法である。さらに、試作システムの設計・実装・評価実験を通じ、考案した方式の有効性を示す。

代表的なQoS保証方式であるIntServやDiffServは、経路上のIPルータにRSVP等のシグナリングプロトコルの実装や、DSフィールド扱うための実装を要求する。このため、アプリケーションが要求する帯域や最大遅延を保証できるという利点の一方で、(P1)利用できるネットワークが限定されるという問題を含んでいる。また、IntServやDiffServを利用するアプリケーションには、シグナリングプロトコルを扱ったり、DSフィールドにDSCPをセットするための実装が不可欠である。このため、既存アプリケーションを両方式に対応させるためには(P2)既存アプリケーションの変更が必要という、アプリケーションの再利用性の観点からみた問題点がある。

提案方式ではまず、IntServ等により論理ネットワーク層レベルで行われていたフロー制御を、やわらかいネットワーク層、すなわち従来のアプリケーション層レベルで行うことで、前述した(P1)利用できるネットワークが限定されるという問題を解決する。加えて、QoS要求獲得機能とQoS解決機能により、利用者が操作しているアプリケーションのウィンドウ状態に応じ各アプリケーションのフローの優先度を決定することで、前述の(P2)既存アプリケーションの変更が必要という問題を解決する。

本方式では、ウィンドウ情報からQoSパラメータを生成するために知識が必要となるが、エージェントを用いることで、その知識の扱いが容易になる。具体的には、知識の表現のしやすさ、変更・追加の容易性などが挙げられる。このようなエージェントの特徴を活かし、提案手法を実現する各機能をエージェントによりそれぞれ設計した。

上述の設計に基づき実装したプロトタイプシステムを用いて、提案手法の有効性を確認するために、実験を行った。実験環境として、クライアント(以下FN-Client)、ゲートウェイ(以下FN-Gateway)をPPPにて接続し、Webブラウザ、Telnetクライアントには、QoS保証非対応であるInternet Explorer、TeraTermをそれぞれ用いた。FN-ClientとFN-Gateway間の通信速度は、FN-Gatewayより上流のネットワークの帯域に比べ十分低速な速度とした。

実験1:応答速度向上の検証 提案方式の利用による応答速度向上検証のため、HTTPフローが支配的な状況下において、提案システムのQoS制御をOn/Offとしたそれぞれの場合について、Telnetのキャ

ラクタエコーの応答時間を測定した。FN-ClientとFN-Gateway間の接続速度は9,600bpsとした。実験結果より、QoS制御Off時の平均応答時間は9.35secであり、これは実用上問題がある遅延であることは明らかである。これに対し、QoS制御On時の平均応答速度は0.10secであり、大幅に改善が認められた。

実験2:優先度変更に伴うスループット向上の検証 TelnetとHTTPのフロー優先度の比率を10:1と1:10に交互に変化させた場合に、これに応じてTelnet,HTTPのスループットがそれぞれ向上することを検証する。HTTP,Telnetのフロー比率は30秒毎に1:10と10:1へ変化させ、それぞれのスループットの時間推移を測定した。FN-ClientとFN-Gateway間の接続速度は57.6Kbpsとした。実験結果より、スループットの推移は、フロー比率の切り替えに対して、鋭敏に反応していることが判った。また、HTTP,Telnet両スループットの合計値は平均40Kbpsであり、これは回線速度の57.6Kbpsに比べ多少低い値となっている。この原因としては、IPヘッダやPPPによるオーバーヘッド等が考えられるが、実用に支障をきたす程の速度低下では無い。

以上の結果から、QoS非保証型ネットワーク環境において、QoS保証に非対応のアプリケーションを利用する場合でも、提案方式によりアプリケーションごとのフロー制御が可能となり、2つの問題(P1),(P2)が解決されることが検証された。

4 柔軟な非同期メッセージングシステム

第2章で提案したエージェント型ネットワークミドルウェアを活用したアプリケーションの構成例として、既存の電子メールシステムの配送機能を高度化する柔軟な非同期メッセージングシステムを提案し、実装・評価を行う。これは、利用者の求める配送機能が送信者側と受信者側の電子メールシステムに備わっていない場合、配送機能を動的に構成することにより、利用者要求を満足するメールサービスを提供するシステムである。さらに、提案ミドルウェアが保持する利用者情報を活用し、受信者の状況に適した配送制御も実現する。

従来の分散型電子メールシステムは、利用者が広範囲で利用でき、また集中型電子メールシステムに比べてメールクライアント選択の自由度が大きいという利点がある。その一方で、コンテンツの制御に関する機能が限られているため、送信済メールの取消等ができない、受信者の不在等の状況に柔軟に対応できず配送効率が低下するなど、利用者視点から見た問題点が指摘されている。

従来の分散型電子メールシステムが持つ利便性を維持しつつ上述の問題を解決するためには、(1)利用者の要求に応じて、使用中のメールシステムに新たな配送機能を追加し、これらの追加機能を利用可能とすること、(2)利用者の作業状況等の外的要因を考慮した自律的なメール配送処理機能を実現することが必要である。本章では、従来の分散型電子メールシステムに対し上述の要件(1),(2)を付加する新たなフレームワークとして、以下の2つの目標機能(F1),(F2)を備えた柔軟な非同期メッセージングシステム:FAMES(Flexible Asynchronous Messaging System)を提案する。

(F1)適応型サービス構成機能 受け付けた利用者要求と、その時点での動作環境の状況に基づいて、これらに適合したメッセージングサービス(以下、サービスと略称する)を自動的に構成する。

(F2)知的メッセージング機能 受信側の状況に応じた配送先変更、利用者要求に基づく実行中の配送動作の制御、及び、配送状態確認等を実行する機能である。本機能では、コンテンツの配送を行うホスト間で配送状況を共有することにより、各ホストが配送状況を把握して、三者間以上での配送制御を可能とし、また、各ホストから配送中のコンテンツの操作も可能とする。

上述の機能(F1),(F2)を実現する具体的な設計として、FAMESをマルチエージェントにより構成する。FAMESにおける利用者環境は、エージェント動作環境と呼ばれる機構を中核として、メールの送信側/受信側の両方に構成される。エージェント動作環境は、既存のメールクライアントと配送処理機構の中間に配置され、そこに各種のFAMESエージェントが生成され、これらが動作してFAMESのサービ

スが動的に構成される。

提案システムが、利用者要求とアプリケーションの実装機能に応じ、適応的にサービスを構成可能であり、さらに利用者の状況を考慮し効率的なメール配送を行うために有効であることを示すために、プロトタイプシステムを用いて、実験1:配送機能の動的な追加・変更と、実験2:利用者状況を考慮した効率的な配送処理の2つの実験を行った。

実験1:配送機能の動的な追加・変更 本実験では、利用者がメールを送信する際に、利用者のメールシステムに備わっていない配送機能の利用できるようになることを確認することで、利用者が使用するメールシステム、及び、利用したい配送機能に関する要求に即して、同要求を満たす配送機能が動的に選択・追加されることを検証する。実験は、利用者A,Bがそれぞれ送信後取消機能を持たないメールクライアントであるMicrosoft OutlookExpress, 及びNetscape Messengerを使用して行った。実験の結果、本来メールクライアントが持っていない送信後取り消し機能が、目標機能(F1)適応型サービス構成機能の働きにより、利用者A,Bそれぞれの環境に動的に追加され、使用可能となることが確認された。このことにより、利用者が使用するメールシステム、及び、利用したい配送機能に関する要求に即して、同要求を満たす配送機能が動的に選択・追加できることを検証した。

実験2:利用者状況を考慮した効率的な配送処理 本実験では、利用者状況を考慮した効率的な配送処理が行われることを検証するために、受信者の中に不在者が含まれる状況下で、回覧メールの送信実験を行った。実験は、利用者A,B,Cの間で回覧機能を使用し、このうち利用者Bを不在と設定して行った。実験の結果、(F2)知的メッセージング機能の働きにより、メールの受信者Bが出張等で不在の場合、通常数日間の遅延が生じる可能性がある状況を自律的に判別し、この遅延を回避するような配送処理が行われることを確認した。このことにより、利用者状況を考慮した効率的な配送処理が可能となることを検証した。

5 結論

本研究では、これまで単独のアプリケーションのみで行われてきた適応的動作を、ネットワーク資源／プラットフォーム資源を共有し稼働する複数のアプリケーション間での適応動作へ拡張することを目指し、アプリケーションとネットワークを統合的に監視・制御する動的ネットワーキングアーキテクチャを提案し、本アーキテクチャに基づくエージェント型ネットワークミドルウェアの構成法を与えた。本論文で提案する手法は、今後ますます複雑化するであろうネットワーク環境において、利用者指向のサービスを提供するアプリケーションの構築に有効であると考えられる。

論文審査の結果の要旨

情報資源やトラヒックなどが時々刻々と変動するネットワーク環境において、利用者要求を満足するサービスを提供するためには、このような変動に対して自律的に適応可能なアプリケーションの構築が重要となっている。そのために、複数のアプリケーション間での協調的な適応を支援するための基盤ソフトウェア、すなわちミドルウェアの開発手法の確立が望まれていた。そこで著者は、アプリケーションとネットワークを統合的に監視・制御するエージェント型ネットワークミドルウェアの構成に関する詳細な研究を行った。本論文はその成果をまとめたものであり、全編5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、従来のネットワークアーキテクチャにおけるアプリケーション層と論理ネットワーク層の間に、これらを効果的に連携させる新たな機能層としてやわらかいネットワーク層を導入した動的ネットワークングアーキテクチャを考案している。さらに、やわらかいネットワーク層の具体的な実現手法として、エージェント型のネットワークミドルウェアを提案し、その実現法も与えている。

第3章では、第2章で提案したネットワークミドルウェアの支援に基づいた、アプリケーション指向ネットワークサービス品質(QoS)制御方式を考案している。これは、複数の計算機上で稼動する各ミドルウェアが互いに協調して個々のアプリケーションの通信量を調整することにより、効果的なQoS制御を実現する手法である。さらに、試作システムの設計・実装・評価実験を通じ、考案した方式の有効性を示している。これは、提案手法の実用化に向けた重要な成果である。

第4章では、第2章で提案したエージェント型ネットワークミドルウェアを活用したアプリケーションの構成例として、既存の電子メールシステムの配送機能を高度化する柔軟な非同期メッセージングシステムを提案し、実装・評価を行っている。これは、利用者の求める配送機能を動的に構成することにより、利用者要求を満足するメールサービスを提供するシステムである。さらに、提案ミドルウェアが保持する利用者情報を活用し、受信者の状況に適した配送制御も実現している。これらは、利用者要求を満足する高度なサービスを提供するアプリケーションの構築法に関する有用な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、エージェント型ネットワークミドルウェアの構成・実装・評価を通じて、アプリケーションとネットワークを効果的に連携させるネットワークミドルウェアの構築法の基礎を与えたものであり、情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(情報科学)の学位論文として合格と認める。